

Тут  $\bar{\varepsilon}_s$  – середні деформації розтягнутої арматури перед початком розвантаження.

Оскільки залишкові напруження у розтягнутій арматурі після розвантаження  $\sigma_s^0 = E_s \varepsilon_s^0$ , то залишкові деформації  $\varepsilon_s^0 = \sigma_s^0 / E_s$ , або з урахуванням формул, записаних вище, складатимуть:

$$\varepsilon_s^0 = \frac{2\bar{\varepsilon}_s(z + 0,5h - h_0)}{a \cdot z}. \quad (8)$$

При частковому розвантаженні деформації становлять:

$$\varepsilon_{si}^0 = \varepsilon_s^0 + (\bar{\varepsilon}_s - \varepsilon_s^0) \left[ 1 + \rho \left( \frac{\bar{M} - cM_i}{\bar{M}} \right)^n \right] \frac{M_i}{\bar{M}}, \quad (9)$$

де  $\rho$ ,  $c$ ,  $n$  – коефіцієнти, які дорівнюють 0,4; 1; 0,5 відповідно [1, 3].

Відстані від точки прикладання рівнодійної стискуючих зусиль у шарі полімербетону і у бетоні стиснутої зони до центру ваги розтягнутої арматури визначають за рівняннями:

$$z_{pb} = h_0 + 0,5\delta; \quad z_b = h_0 - 0,5x. \quad (10)$$

Висоту стиснутої зони бетону визначають з умови рівноваги – сума проекцій всіх сил на вісь елемента дорівнює нулю:

$$N_b + N_{pb} - N_s = 0. \quad (11)$$

1.Касассбех Абдельмажидж. Прочность и деформативность усиленных и восстановленных полимербетоном железобетонных изгибаемых элементов: Дис...канд. техн. наук. – К., 1997. – 201 с.

2.Сунак О.П. Прочность, трещиностойкость и деформативность нормальных сечений изгибаемых комбинировано армированных сталефибробетонных элементов: Дис...канд. техн. наук. – К., 1986. – 175 с.

3.Методические рекомендации по уточненному расчету железобетонных элементов с учетом полной диаграммы сжатия бетона / А.Н.Бамбура, В.Я.Бачинский, Н.В.Журавлева, И.Н.Пешкова. – К.: НИИСК, 1987. – 25 с.

Отримано 06.12.2005

УДК 678.027.3

В.А.СВІДЕРСЬКИЙ, А.Д.ПЕТУХОВ, доктора техн. наук,

Д.Г.ШУСТИНСЬКА, С.С.КОЛОМІЄЦЬ

Національний технічний університет „КПІ”, м.Київ

## ЕКСТРУЗІЙНІ ПІНОПОЛІОЛЕФІНИ: УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ЇХ ВИРОБНИЦТВА І ВЛАСТИВОСТЕЙ

Аналізуються екструзійні методи виробництва пінополіолефінів (ППО), дослід-

жуються напрямки удосконалення їх властивостей, у тому числі шляхом структурування, з метою розширення застосування ППО в будівництві та міському господарстві.

Вироби із спінених ППО (полотна, пластини, трубки, їх ламіновані варіанти, джгути, полотна з липким шаром та ін.) знаходять все ширше розповсюдження в міському будівництві та господарстві як засоби тепло-, звуко-, гідро-, електро-, віброізоляції, амортизації. Завдяки високій хімічній стійкості, відносно задовільній механічній міцності, морозостійкості, хорошим діелектричним характеристикам, невеликому водопоглиненню, малій уявній густині, гнучкості, ефективному способу виробництва, відносно низькій собівартості, спрощеній та зручній формі використання ППО витісняють традиційні матеріали, маючи відчутні переваги серед інших промислово поширених спієних полімерів.

Освоюються нові ніші використання ППО. Особливо це помітно в сучасних умовах будівництва так званих „енергоефективних” будівель, сумарна економія тепла в таких будівлях досягає 50%. Теплоізоляцію з ППО виготовляють у вигляді пластин і трубок, які забезпечують як надійну тепло-, гідроізоляцію стін, стелі, підлог, так і захист трубопроводів від запотівання, утворення конденсату. Висока паропроникність ППО сприяє міграції парів вологи з внутрішніх шарів теплоізоляційних оболонок теплопроводів, що виключає „парниковий” ефект і, таким чином, забезпечує високу якість ізоляції.

Важливо, що більшість з вказаних виробів та напівфабрикати для решти виготовляють безпосередньо безперервним екструзійним методом, за допомогою якого можна регульовано вводити компоненти по ходу здійснення процесу. Компоненти можуть бути як в твердому так і в рідкому стані. При екструзійній підготовці розплаву композицій для спінювання забезпечується висока гомогенізація компонентів у полімерної матриці.

Продовжується робота по підвищенню всього комплексу властивостей ППО, технологічних та експлуатаційних можливостей звичайного (термопластичного) спіненого поліетилену низької густини (ППЕНГ), з приближення промислового впровадження спієних структурованих (зшитих) поліетилену низької густини (ЗППЕНГ), лінійного поліетилену низької густини (ЗПЛПЕНГ), поліетилену високої густини (ЗППЕВГ), поліпропілену (ЗППП) та їх сополімерів.

Удосконалення ППО відбувається за рахунок підбору для вихідних композицій матеріалу полімерної матриці, ефективних небезпечних спіновачів, утворювачів зародків (нуклеаторів) комірок, емульгаторів (стабілізаторів) стінок комірок, агентів регульованого утворення вільних радикалів у матриці і просторового структурування полімерів,

необхідних для цього каталізаторів, прискорювачів зшивання, а також антистатиків, барвників, антипіренів та інших домішок. Потребують удосконалення і режими переробки, обладнання.

Об'єктами перспективного використання або вивчення для можливості використання в якості полімерної матриці ППО є поліолефіни всіх типів: від традиційних поліетилену, поліпропілену, сополімерів до їх різних модифікацій, у тому числі таких як надвисокомолекулярний поліетилен.

Полімерна матриця повинна забезпечити умови для утворення оптимальної кількості комірок, підтримати їх ріст і стабілізацію газоструктурного елементу. Однією з умов є наявність достатньо широкого діапазону в'язкості розплаву, що забезпечує технологічну можливість утворення закритих пружних комірок, тому що за межами діапазону при максимальній в'язкості порушується сталість процесу утворення комірок, а при мінімальній – комірки втрачають пружність. В'язкість визначається природою полімеру та температурою розплаву, тому кожен з полімерів має різний діапазон в'язкості: якщо поліетилен високого тиску має широкий технологічний інтервал, то у поліетилену низького тиску і поліпропілену цей інтервал менший.

Ефективними в технологічному, екологічному і вартісному планах є використання для спінювання поліолефінів низькокиплячих скраплених вуглеводних газів з ряду бутан – гептан. Вони відповідають таким вимогам:

- мають низьку молекулярну масу;
- температура їх кипіння нижче температури плавлення поліолефінів;
- у рідкому та газоподібному стані хімічно інертні і стабільні;
- легко розчиняються в розплаві композицій;
- у газоподібному стані мають більш низьку швидкість дифузії в полімері у порівнянні з повітрям;
- мають більшу густину ніж повітря, самопливом віддаляються із зон переробки і технологічного вилежування виробів при наявності відповідної вентиляції з надпідлогових шарів повітря приміщень;
- у газоподібному стані не мають кольору та запаху.

Відомо, що пряме насичення газом чистого полімеру без утворювачів зародків (нуклеаторів) комірок приводить до утворення грубокоміркових структур піни. У той же час на зародках переважно фіксується газ-спінювач, де і розширюється під час спінювання розплаву: чим більше зародків, тим більше з'явиться комірок, тим меншим буде се-

редній розмір комірки. Як нуклеатори застосовують тальк, каолін, карбонат кальцію, діоксид кремнію і т.д. у вигляді суперконцентратів.

Вибір конкретного нуклеатора залежить від його наявності і вартості, полімерної матриці, призначення виробу. Основні вимоги до нуклеатору:

- висока дисперсність у складі суперконцентрату;
- відсутність вологості;
- хімічна інертність до складових композицій.

Частка кожного з утворювачів зародків комірок може стати і нуклеаторами кристалізації полімерів-матриць.

Речовини, що не змішуються, можна диспергувати одна в одну, наприклад, газ у розплав, з отриманням піни. *Емульгатори* концентруються на межі цих двох фаз, утворюючи міжфазну плівку. Така спроможність емульгаторів обумовлена їх дифільною структурою. У випадку розплав-газ емульгатор зменшує швидкість виходу газу з комірки. Для досягнення оптимальної стабільності піни необхідно оптимальне співвідношення двох фаз, зайвий емульгатор теж дестабілізує систему. Поряд з моностеаратом гліцерину використовуються також пінорегулятори „Пента”, „Лапросил” та ін.

Розглянемо технологію виготовлення полотна (як приклад) з ППЕНГ, полімерна матриця якого – ПЕНГ – не має строго лінійної побудови макромолекул, а короткі бокові ланцюги перешкоджають щільному укладанню молекул полімеру. Тому ПЕНГ відрізняється від поліетилену високої густини і поліпропілену малим ступенем кристалічності і, відповідно, більш низькою густиною. Низька щільність укладання макромолекул ПЕНГ є основною причиною його „негазо-щільності”, що обмежує застосування ПЕНГ для газопроводів, але розширяє можливості при його спінюванні. ПЕНГ відноситься до кристалічних полімерів з так званою жорсткою структурою, котра адекватна мікропористій, оскільки відстань між елементами структури порівняна з розмірами молекул вуглеводних газів.

До складу обладнання за схемою „інлайн” (підготовка розплаву з введенням всіх компонентів і спінювання відбуваються на одному екструдері) входять екструдер із завантажувальним бункером і двохсекційним черв'яком і формувально-спінююча головка з пристроєм для калібрування і охолодження трубчастій заготовки полотна. До складу входять також пристрій подання емульгатора, газодозувальний насос, пристрій для переведення заготовки з циліндричної форми в плоску, тягнучий і намотувальний пристрій та інше допоміжне устаткування.

Принцип роботи обладнання зводиться до наступного. Гранульована композиція з ПЕНГ і нуклеатора (наприклад, суперконцентрату

тальку), а при необхідності барвників, антипіренів та інших домішок подається із завантажувального бункера в канал першої секції обертового черв'яка, де при нагріві від зовнішніх і внутрішніх джерел тепла розплавляється, потім стискується і в вигляді розплаву поступає в зону декомпресії. Там до розплаву, котрий знаходиться під зниженим тиском, вводяться послідовно під тиском емульгатор (наприклад, моностеарат гліцерину) і спінювач (наприклад, ізобутан), які розчиняються в розплаві суміші ПЕНГ і нуклеатора. Після зони декомпресії в другій секції черв'яка розплав знову стискується, гомогенізується, охолоджується до температури спінування (107-117 °C) за рахунок інтенсивного охолодження циліндра другої секції. Рівномірна структура піни забезпечується якістю механічної і температурної гомогенізації розплаву, тобто більш рівномірному розподілу в полімерній матриці нуклеатору, емульгатору, спінювача.

У головці розплав деформується в трубчасту заготовку, на виході з кільцевого зазору котрої спінується. Чим більше розчинність газу і чим менше швидкість дифузії його через плівку (стілки комірок) при спінуванні, тим більше сприятливі умови для утворення дрібнокоміркової структури, яка містить мінімальну кількість відкритих комірок. Проникність через стінки комірок залежить від розчинності газу та коефіцієнту його дифузії. З підвищенням температури проникність і дифузія газу зростає.

Форма ланцюгів, розміри і полярність бокових груп, міцність міжмолекулярних зв'язків впливають на проникність полімеру більше, чим довжина ланцюгів. Так зменшення щільності упакування (у розгалужених полімерів) приводить до зростання проникності і дифузії внаслідок послаблення міжмолекулярної взаємодії. Великі міжмолекулярні відстані сприяють сорбції (розчиненню в полімері), а більша свобода коливальних рухів окремих ділянок збільшує проникність та прискорює дифузію сорбованого газу в полімері.

У момент початку спінування композиції стінки комірок піни тверднуть, газ через негазоцильні стінки виходить з комірок, що приводить до зменшення його кількості та зниження парціального тиску газу всередині комірок. Тобто рушійною силою для виходу газу з комірок є його різниця в парціальних тисках в комірках ( $p_r \rightarrow \text{макс}$ ) і в навколишньому повітряному середовищі ( $p_r \rightarrow 0$ ). Отже повітря повинно дифундувати в напрямку, зворотному напрямку дифузії газу. Це сприяє прискоренню дифузії повітря до комірок. Причому проникнення повітря до комірок, не глядячи на деякий надлишковий тиск, відбувається значно швидше, чим випаровування з комірок газу. Існує дум-

ка, що при спінюванні утворення комірок відбувається за рахунок випаровування газу і тільки біля 50% їх розширення, решта відбувається завдяки проникненню до комірок повітря. Цьому сприяє і вплив емульгаторів, що стабілізують комірки.

Змінюючи вміст в композиції спінювача і формуючий зазор головки можна отримати піну різної уявної густини від 0,01 до 0,5 г/см<sup>3</sup> (об'єм порожнин при цьому складає 50-80%). Дрібнокоміркові структури із закритими комірками забезпечують меншу уявну густину піни, ніж великокоміркові.

Після виходу із зазору спінена заготовка труби натягується на калібр, де приймає заданий розмір (діаметр, товщину) і охолоджується: усередині – на поверхні калібру, а зовні – за допомогою повітряного кільця. Далі труба розрізається вздовж, при витягуванні розвертається в плоске полотно і намотується в рулони.

Різна товщина пластин, трубок з різноманітним захистом поверхні, інші їх геометричні параметри отримуються як безпосередньо екструзією, так і дублюванням, ламінуванням полотен, їх зварюванням у трубки.

Окрему сторінку розвитку ППО складає їх структурування, котре представлено на сьогодні в модифікуванні монолітних виробів з ППО трьома методами: пероксидним, опроміненням та сілановим. Сілановий – новий та найбільш перспективний для екструзійного спінювання, має чотири варіанти технології: із застосуванням двоетапної технології Sioplast і одноетапної технології Monosil [1], а також сіланових сополімерів (технологія Visico) і одноетапної технології з сухими сіланами [2]. При одноетапній технології з сухими сіланами їх суміші, зберігаючи всі переваги поліетилену, забезпечують однорідне та рівномірне зшивання ППО, більш високу швидкість переробки, можливість виготовлення на одному обладнанні як зшитих, так і термопластичних матеріалів.

Сіланові суміші вводяться в полімерну матрицю в пористому носію. Зазвичай, це пористий поліолефін, несуча спроможність якого досягає 65-70%. На прикладі отримання ЗПЛПЕНГ за такою технологією наступне: в завантажувальний бункер двохсекційного екструдера подаються гранульовані лінійний ПЕНГ (100%), суперконцентрати нуклеатора (3%), барвника (1%), антипіренів (2%), антистатика (1,5) і сіланова суміш (сілан+каталізатор+пероксид) у ПП-носії (1,3-1,8%). Наведена рецептура композиції приблизна. У зоні декомпресії вводяться послідовно емульгатор (3%) і спінювач (до 8%). На виході з формуючого зазору головки розплав спінюється. Зшивання відбувається в гарячій воді (при 80 °С – 4 години) або на повітрі (при 23 °С –

7 днів). Ранжирування швидкості процесу зшивання (від меншої до більшої) для представників ЗППО наступне: ППЕНГ, ППЕВГ, ПЛПЕНГ, поліетилен середньої густини, сополімер етилену з вінілацетатом [2].

1.Zweifel H. Plastics Additives Handbook. 5 th ed. – Cincinnati: Hanser Cardner Publications Inc., 2001. – 1148 p.

2.Паллай Яно. Области применения технологии сухих силанов // Доклад на выставке „Кабель и провод”, фирма PolyOne. – К.: НВЦ, 2005. – 24 с.

*Отримано 08.12.2005*

УДК 624.074.7

О.В.ПУСТОВОЙТОВ, О.М.ПУСТОВОЙТОВА, кандидаты техн. наук,  
А.Т.ТЛЕБЗУ

*Харьковская национальная академия городского хозяйства*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ОРИЕНТИРОВАННЫХ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ ДЛЯ УСИЛЕНИЯ НЕСУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

Рассматривается перспективный метод применения высокопрочных ориентированных стеклопластиков в качестве арматуры для усиления несущих элементов зданий и сооружений. Показаны преимущества предлагаемого метода усиления над традиционными способами.

В современных условиях ограниченной возможности нового строительства, в основном связанных с проблемами плотной застройки городов, особое значение приобретает вопрос сохранения существующих зданий и сооружений.

Для производственных зданий необходимо добавить ряд специфических факторов, существенно влияющих на степень физического износа, а именно: статические и динамические воздействия от оборудования, машин и механизмов (задействованных в процессе производства), влияние на конструкции агрессивных сред и др.

Дефекты существующих зданий в основном связаны с такими факторами, как транспортировка, выполнение строительно-монтажных работ, эксплуатация и нуждаются в срочном ремонте и реконструкции. Однако отсутствие четкого графика проведения мероприятий по техническому обслуживанию, а также недостаточное финансирование, оказывают тормозящий эффект при производстве ремонтно-строительных работ.

Для предотвращения потери зданиями первоначальных технических свойств и устранения несоответствия их функциональному назначению при технико-экономическом обосновании с учетом постав-